磁気材料・磁気デバイス開発における中性子利用

武田 全康

(日本原子力研究所先端基礎研究センター)

How to Use Neutrons in Development of Magnetic Materials and Devices

Masayasu Takeda

Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Research Institute

同程度の空間分解能をもつプローブとしてX線（放射光）と中性子を比較するとき、筆者が最初に思い浮かべるのは、軽元素に対する感受性や物質に対する浸透性ではなく、中性子は電気的に中性であり、それ自身がスピンを持つことである。このスピンと物質内部の磁気モーメントの間の双極子相互作用をとおして直接的に磁気構造を動的にも静的にも調べることができる。また、他の磁気構造の解析手段と比較した場合、強磁性構造だけでなく、トンネル磁気抵抗素子の中でピン層として使われる反強磁性体の磁気構造をも調べることができるのが大きな特徴である。したがって、発電所の発電機に使われている鉄心から磁気記録用ヘッドにいたるまで、我々の日常生活に深く浸透している、磁気を使った装置やデバイスの基礎研究に中性子が果たす大きな役割は容易に想像することができる。

しかし、現時点で実用化されている様々な磁性材料、磁気デバイスの開発に中性子が直接的に利用された例は非常に少ないという現実がある。それには様々な要因をあげることができるが、ひとつには中性子にはX線のように、放射光に対して研究室レベルで持つことのできる線源が存在しないこと、また、国内に限れば中性子利用を産業利用に広げようとする動きがでたのはごく最近のことであり、中性子は自然科学の探究のためにあるという風潮が長く続いたためでもある。巨大施設であるがゆえの共同利用体制や成果の原則公開が、開発スピードや特許が重要な要素となる産業界にはなじまなかったこともあるであろう。

その一方で、中性子が磁気材料・デバイスの進歩に全く貢献もしなかったかというところもまた事実反する。ここ10年の例を見ると、磁気記録や読取ヘッドに利用されている巨大磁気抵抗(GMR)効果やトンネル磁気抵抗(TMR)効果などは、その現象自体が物理学的な興味を引いたため、中性子を使った多くの研究があり、その結果が実際の開発指針に多かれ少なかれ影響を与えたことは想像に難くない。

中性子をもたらす詳細な磁性の情報を必要とせずに磁気を利用したデバイスの開発が成し遂げられてきたのは、構造と磁性(物性)が密接に関連

しているからである。X線を使った構造解析と磁気特性の相関を明らかにし、さらに磁化測定、交流帯磁率や光磁気効果といった通常の実験室レベルで測定可能な情報で補足することで磁気構造を“予想”することができる。しかし、そのようにして決められた磁気構造を中性子回折、中性子小角散乱あるいは中性子反射率測定によって確かなものにしたいという欲求は、研究者としての知的欲求の側面からも、性能を飛躍的に向上させるために必要なブレークスルーのためにも開発に携わる研究者の心の中に常に存在していたと思う。これまでは、残念ながらそのような要求を満たすような潤沢なビームタイムも制度も存在しなかったか、制度そのものの認知度が低く、わかりにくかった。

J-PARCでは現状のKENS(高エネルギー加速器研究機構・物質構造研究所のパルス中性子源)の実質的に100倍から1000倍の大強度中性子を利用することが可能であり、産業利用を組み込んだ利用制度作りが進められている。そのため、中性子は近寄りがたいものという産業界の一般的なイメージを払拭し、実際にビームが供与されるのと同時に測定を始めることができるように、準備を今の段階から進めていくことが、施設側にも産業界にも重要である。

それではJ-PARCでは磁気材料、磁気デバイスに関連するどのような研究が行われるのであろうか。環境問題の観点から、さらに効率の良い電磁鋼板の開発や永久磁石材料など、いわゆるバルクの磁性に関する研究の重要性も忘れてはならないが、GMRヘッド、MRAM、スピントランジスタなど、磁気デバイスに関連した磁性薄膜・人工格子、あるいは表面に微細加工を処理したデバイスそのものの表面・界面の磁性あるいは磁気構造に関する研究が大きな位置を占めると考えられる。そのような研究に最適なのが中性子反射率計であり、とくに偏極中性子反射率計は磁気デバイスの開発研究に大きな威力を発揮する。

偏極中性子反射率計は原則として鏡面をもった試料の磁気構造を含む構造の厚さ方向に関する変調を調べる装置で、空間分解能としてはナノオーダーを有する。また、非鏡面反射率(入射角と反

射角が等しくない条件での反射率)を測定することで、厚さ方向の構造変化だけでなく表面や界面の面内方向に関する磁気構造の情報をも得ることができる。J-PARCでの大強度中性子源の下では、現状ではとても考えられないほど良いコリメーションを持った入射ビームでの反射率測定が可能になるだけでなく、これまでは中性子では非常に難しかった表面エバネッセント波やCTR散乱を利用した表面・界面の磁気構造解析も射程に入り、これまでに私たちが見たとこない世界が広がるはずである。また、微小試料での測定や測定時間の短縮が可能になるという点も、作成条件を変えた、たくさんの試料を次から次へと測定しながらその情報を作成条件に反映させていくようなプロセスが想定される場合には、単純ではあるが大強度中性子源を使うことのメリットとして見逃せない要素である。

現在、磁気デバイス開発における中性子利用に関心のある企業と大学から人が集まり、磁気デバイスにおける中性子応用検討会を行っている。この研究会では、中性子が具体的にどのように磁気デバイス開発の現場に役に立つかを示すことを目標に、パイロット的な研究を昨年度からスタート

させている。磁気材料、磁気デバイスの開発に携わっている方々は、ぜひとも、このパイロット研究が発信する情報に注目していただきたい。

Abstract:

Neutrons are sensitive to not only ferromagnetic but also antiferromagnetic structures. Therefore they have a potential power to increase speed of development in magnetic materials and devices. Because of limited intensity of present neutron sources in Japan, neutrons are underutilized for the purpose. J-PARC will contribute to such development with high-intensity neutron source.